

Construção de um aparato de baixo custo para medir ângulo de contato

Construction of a low cost apparatus to measure contact angle

Enoque de Sousa Barbosa¹
Valéria Castelo Branco de Sousa²
Victor Montero Del Aguila³

¹ Graduado em Física pela Universidade Federal do Amapá. Professor da Secretaria da educação do estado do Ceará, Brasil.

E-mail: enoque.barbosa9@gmail.com  <http://lattes.cnpq.br/1271324753791705>  <http://orcid.org/0000-0002-2695-2486>

² Pós-Graduada em Gestão e Docência do Ensino Superior pela Faculdade de Teologia e Ciências Humanas e graduada em Licenciatura em Física pela Universidade Federal do Amapá, Brasil.

E-mail: valeria.castelo20@gmail.com  <http://lattes.cnpq.br/2001312965893720>  <http://orcid.org/0000-0003-0380-7742>

³ Doutor em Física pelo Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas e pós-doutorado pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Mestre em Física pelo Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas e Graduado em Física pela Universidad Nacional de la Libertad. Professor Adjunto I da Universidade Federal do Amapá, Brasil.

E-mail: vmagui@unifap.br  <http://lattes.cnpq.br/1505020953039541>  <http://orcid.org/0000-0002-0265-0600>

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo a construção de um aparato de baixo custo capaz de medir ângulo de contato. Para a construção do mesmo utilizou-se material de “sucata”, bem como alguns itens de armário e outras peças tais como tarraxa de violão. Após a construção foi realizada a coleta de dados e, quantitativamente, utilizando-se de métodos estatísticos, obtiveram-se os valores de ângulo de contato. Com isso, foi observado que o aparato mostrou-se capaz de realizar medidas satisfatórias de ângulos de contato em três superfícies, sendo que os valores obtidos neste trabalho foram de $45,3^\circ \pm 0,9^\circ$ e $45,2^\circ \pm 1,5^\circ$ entre água e o vidro, $158,5^\circ \pm 0,3^\circ$ e $157,6^\circ \pm 0,9^\circ$ entre a água e a superfície foliar da planta *Thalia geniculata* (Marantaceae), mostrando resultados coerentes com demais resultados obtidos a partir de equipamentos profissionais. Ao realizar um estudo sobre a planta *Colocasia antiquorum schottpara* (Tajá) obtiveram-se ângulos de contato de $167,8^\circ \pm 1,4^\circ$ e $160,4^\circ \pm 4^\circ$ entre a água e a superfície foliar da planta, sendo este o maior ângulo formado no contato da gota de água e uma superfície foliar reportado na literatura brasileira.

Palavras Chave: Ângulo de contato. Superhidrofóbico. Aparato de baixo custo.

ABSTRACT: This work aimed at the construction of a low cost apparatus capable of measuring contact angle. For its construction it was used "scrap material", as well as some haberdasher items and other parts like guitar tuning pegs. After the construction the data collection was performed and, quantitatively, using statistical methods, the values of the contact angles were found. Thus, it was observed that the apparatus showed to be able to perform satisfactory measurements of contact angles in three different surfaces, in which the values obtained in this work were $45.3^\circ \pm 0.9$ and $45.2^\circ \pm 1.5$ between water and glass, $158.5^\circ \pm 0.3$ and $157.6^\circ \pm 0.9$ between the water and the leaf surface of the *Thalia geniculata* (Marantaceae) plant, showing consistency with results obtained from professional equipments. Performing a study on the *Colocasia antiquorum schottpara* (Tajá) plant it were obtained contact angles of $167.8^\circ \pm 1.4$ and $160.4^\circ \pm 4$ between the water and the leaf surface of the plant, those being the largest angles formed in the contact of the drop of water and a foliar surface reported in Brazilian literature.

Keywords: Contact angle. Superhydrophobic. Low cost apparatus.

INTRODUÇÃO

Falando-se em superfícies e suas proprie-

dades não se pode deixar de mencionar a sua molhabilidade (que está relacionada ao quanto um líquido pode espalhar-se sobre uma super-

fície), e que os estudos relacionados à mesma podem englobar um conjunto de conceitos ligados a quase todos os ramos da Física. Essa molhabilidade é definida através de um ângulo (θ) conhecido como ângulo de contato, onde, dependendo do valor desse ângulo, a superfície pode ser caracterizada como liofóbica ou liofílica. Caso o líquido seja a água, é caracterizado como hidrofóbica ou hidrofílica (FERREIRA, 2003; DORING et al., 2013).

Os primeiros modelos utilizados para o estudo da superhidrofobicidade de superfícies surgiram na primeira metade do séc. XX a partir dos trabalhos de Wenzel, Cassie e Baxter. Contudo, foi graças a dois trabalhos importantíssimos que se alavancou o estudo pelas superfícies hidrofóbicas e hidrofílicas. Um de Onda et. al. publicado em 1996, onde este dizia que a superhidrofobicidade estava relacionada à existência de estruturas fractais e o outro de Barthlott e Neinhuis que descrevera a característica superhidrofóbica da flor de lótus. Chamando assim o interesse pelo assunto, principalmente, de grupos empresariais privados como Toyota, Nissan Motor CO LTDA, Toshiba KK, Sony Corporation, Fuji Film, entre outras, sendo que esses grupos são proprietários da maior parte de patentes referentes ao assunto (BURKARTER, 2010; FERREIRA, 2013).

Para encontrar o ângulo de contato é necessário um aparato para medi-lo, esse aparato é conhecido como goniômetro, contudo, o custo de um equipamento capaz de fazer essa medida gira em torno de R\$ 20.000,00 (vinte mil reais). Deste modo, o objetivo deste trabalho é construir um aparato de baixo custo capaz de medir ângulo de contato, para então dizer se a superfície é hidrofóbica ou hidrofílica.

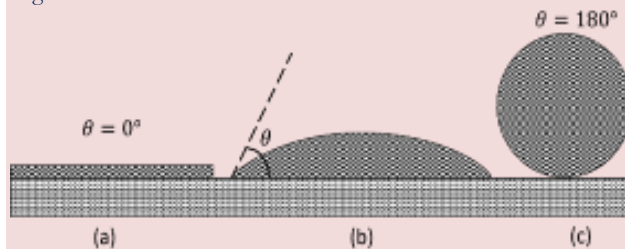
1 FUNDAMENTO TEÓRICO

Podemos definir a molhabilidade de uma superfície como uma medida do quanto

o líquido pode espalhar-se sobre ela ou do quanto o líquido fica retido em uma superfície, pois, dependendo da estrutura da superfície a mesma não é molhável e sim apenas retém o líquido. Esse espalhamento é definido por um parâmetro chamado ângulo de contato (θ), que é medido entre a linha que tangência a gota nas imediações da superfície e a linha horizontal onde a superfícies se encontra, como mostra a Figura 1.1. No caso da água, classifica-se as superfícies como hidrofóbicas, quando o ângulo de contato é maior que 90 graus, e hidrofílicas, quando o ângulo de contato é menor que 90 graus. Há também casos extremos, mostrados na Figura 1.1, quando o ângulo de contato é superior a 150° (cento e cinquenta graus) a superfície é chamada superhidrofóbica e quando este ângulo é menor que 10° (dez graus) a superfície é chamada superhidrofílica. Outro parâmetro associado a caracterização da molhabilidade é a histerese de ângulo de contato, que está associada a facilidade ou dificuldade de uma gota deslizar (ou rolar) para fora de uma superfície. As superfícies superhidrofóbicas possuem baixa histerese de ângulo de contato, isso quer dizer que a água desliza com maior facilidade sobre elas (BURKARTER, 2006; BURKARTER, 2010; FERREIRA, 2013).

Figura 1.1: Condições de molhabilidade de uma superfície: **a)** superfície superhidrofílica $\theta = 0$ grau; **b)** superfície com molhabilidade parcial 150 graus $>\theta> 10$ graus **c)** superfície superhidrofóbica $\theta = 180$ graus.

Figure 1.1: Wett ability conditions of a surface: **a)** superhydrophilic surface $\theta = 0$ degree; **b)** surface with partial wett ability 150 degrees $>\theta> 10$ degrees and **c)** superhydrophobic surface $\theta = 180$ degrees



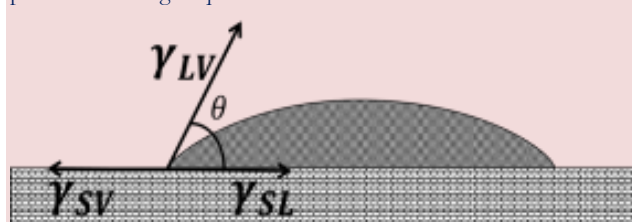
Fonte: Os autores adaptada de Burkarter.

Os estudos ligados à molhabilidade de su-

perfícies iniciaram-se por volta do séc. XIX. Pois, em 1805, Thomas Young obteve uma equação que associa parâmetros no efeito de interação entre sólido e líquido em um estudo com base na ideia de equilíbrio de forças. Essa equação ficou conhecida como Equação de Young mostrada na expressão (1.1), relacionando o ângulo de contato (θ) entre um líquido e uma superfície sólida através das tensões interfaciais líquido-vapor (γ_{LV}), sólido-vapor (γ_{SV}) e sólido-líquido (γ_{SL}). Mais tarde Gauss introduziu o conceito de balanço de energia de superfície aplicado ao fenômeno da capilaridade em 1830, mas foi em 1880 que a Equação de Young ganhou uma base matemática mais sólida graças aos trabalhos de Gibbs relacionados à termodinâmica (BURKARTER, 2010).

Figura 1.2: Definição do ângulo de contato e tensões superficiais presentes na equação de Young.

Figure 1.2: Definition of the contact angle and surface tensions present in Young's equation.



Fonte: Os autores adaptada de Burkarter.

$$\gamma_{LV} \cos \theta = \gamma_{SV} - \gamma_{SL} \quad (1.1)$$

Desta forma os trabalhos de Willard Gibbs, em 1880, indicaram que a tensão superficial resulta de uma energia livre para realização de trabalho sobre as vizinhanças, que pode ser associada aos átomos da superfície. Assim para uma melhor compreensão dos fenômenos que estão ligados à molhabilidade, será apresentado na próxima seção a histerese de ângulo de contato.

1.1 Histerese de Ângulo de Contato

Um aspecto importante para avaliar a molhabilidade de uma determinada superfície é a

histerese do ângulo de contato. Esta é uma medida da aderência de uma gota à superfície que se obtém através da diferença entre o ângulo de contato de avanço e o de recuo, enquanto a gota se arranja à superfície, o ângulo de contato pode assumir um comportamento dinâmico, ou seja, quando o líquido é adicionado, o ângulo de contato pode aumentar, com isso, chama-se de ângulo de avanço (θ_A). No caso dele retrair-se quando uma porção do líquido é retirada chama-se de ângulo de recuo (θ_R). Ambos os casos estão ilustrados na Figura 1.3. Com base neste conceito ligado aos ângulos de avanço e de recuo, destaca-se uma das técnicas de caracterização em trabalhos na área da molhabilidade e é conhecido como o estudo da chamada histerese de ângulo de contato da superfície ($\delta\theta$) (BURKARTER, 2010; FERREIRA, 2013).

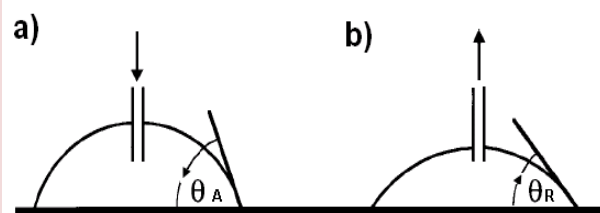
Onde:

$$\delta\theta = -\theta \quad (1.2)$$

Há também um parâmetro de classificação da histerese de ângulo de contato conhecido como ângulo de deslizamento. A Figura 1.3 mostra a relação entre o ângulo de deslizamento com os ângulos de avanço e de recuo:

Figura 1.3: Definição dos ângulos utilizados na determinação da histerese de ângulo de contato: a) ângulo de avanço (θ_A); b) ângulo de recuo (θ_R).

Figure 1.3: Definition of the angles used in the determination of contact angle hysteresis: a) angle of advance (θ_A); b) angle of recoil (θ_R).



Fonte: Burkarter (2010).

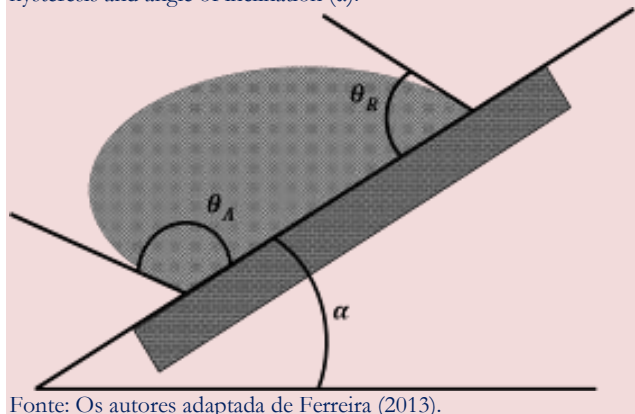
$$\sin \alpha = C \gamma_{LV} (\cos \theta_A - \cos \theta_R) \quad (1.10)$$

Sendo $C = w/mg$, onde g é a aceleração da gravidade, m a massa da gota e w é o diâ-

metro da zona de molhamento. Porém, há dificuldade associada a esta relação, pois a determinação da constante C é feita por métodos empíricos. Para superfícies superhidrofóbicas o valor de $\delta\theta$ é muito pequeno, podendo ser mais um parâmetro de caracterização deste tipo de superfície (BURKARTER, 2010; FERREIRA, 2013).

Figura 1.4: Geometria utilizada para associação entre histerese de ângulo de contato e o ângulo de inclinação (α).

Figure 1.4: Geometry used for association between contact angle hysteresis and angle of inclination (α).



Fonte: Os autores adaptada de Ferreira (2013).

Muitos trabalhos relacionados ao desenvolvimento de superfícies superhidrofóbicas apresentam medidas do ângulo de deslizamento (α) como argumento para indicar o quão baixa é a histerese de ângulo de contato, pois há dificuldades de medida. Neste caso, considera-se que a histerese de ângulo de contato é baixa quando $\theta_A \approx \theta_R$, ou seja, a gota desliza ou rola sobre a superfície com mais facilidade. Portanto, quanto menor o ângulo de deslizamento (α), menor será a histerese de ângulo de contato (BURKARTER, 2010; FERREIRA, 2013).

2 CONSTRUÇÃO DO APARATO

Para a construção do aparato optou-se por usar um microscópio, pois o mesmo possui três graus de liberdade possibilitando assim um total controle sobre o foco da amostra e também suas lentes possuem um poder de

aumento da imagem de 50 (cinquenta) até 1500 (mil e quinhentas) vezes.

A construção do aparato divide-se em três partes, aquisição do material, limpeza e então a montagem. A seguir detalhar-se-á a construção do aparato ressaltando os pontos mais importantes, desde a aquisição dos materiais até a montagem.

2.1 Aquisição e Limpeza do Material

Adquiriu-se o microscópio (que é o material com maior custo e, portanto, mais difícil de se encontrar/adquirir) no Almoxarifado da Universidade Federal do Amapá, onde haviam vários e os mesmos estavam prestes a serem jogados fora.

A escolha do microscópio utilizado pela presente pesquisa foi o modelo Microscópio Binocular Studar Profissional 220v (duzentos e vinte volts), pois, o mesmo se adequava as nossas necessidades, entre elas uma certa estabilidade, onde o mesmo ficaria deitado sobre a mesa e sua parte elétrica não interessaria aqui, porquê, a iluminação sobre a amostra vem de uma fonte externa.

Foi adquirido uma tarraxa de violão em uma loja de manutenção de violões. O intuito da tarraxa é pôr mais um grau de liberdade no instrumento, com isso é possível ter uma melhor visualização da imagem da gota sobre a superfície para a obtenção do ângulo de contato. A placa de alumínio e o vidro foram adquiridos em uma vidraçaria (loja de vidros e alumínios) sendo que os mesmos foram doados. E por fim adquiriu-se duas seringas, a seringa de insulina utilizada aqui foi comprada em uma farmácia onde custou menos de R\$ 2,00 (dois reais) e a micro seringa foi comprada pela internet no valor de R\$ 190,00 (cento e noventa reais).

Após a aquisição dos materiais foi feito a limpeza dos mesmos, onde, o microscópio foi limpo apenas com papel higiênico e água e as

peças desgastadas pelo tempo foram trocadas por outras dos outros microscópios adquiridos no Almoxarifado. A partir daí seguiu-se com a construção/montagem do aparato.

2.2 Montagem do Aparato

Para a montagem do aparato precisou-se de:

- Supercola;
- Pistola e bastão de cola quente;
- Microscópio;
- Duas placas de alumínio A e B, onde o tamanho das placas são suficientes para alojar a tarraxa e as amostras respectivamente;
- Uma tarraxa de violão;
- Uma serra de ferro;
- Uma câmera fotográfica;
- Uma lanterna;
- Fita adesiva.

Com o auxílio de uma serra, foi feita uma abertura na tarraxa. Com a tarraxa é possível por mais um grau de liberdade no aparato para melhorar o manuseio do mesmo na hora de tomar-se as fotografias da gota. Em seguida, a placa de alumínio B foi presa com cola quente na abertura feita com a serra na tarraxa.

Figura 2.1: A placa de alumínio B foi presa com cola quente na abertura da tarraxa.

Figure 2.1: The aluminum plate B was secured with hot glue in the opening of the spindle.



Fonte: Os autores.

Com supercola a placa de alumínio A foi acoplada ao microscópio, a intenção com esta placa de alumínio é criar uma base para então prender a tarraxa na mesma. Logo após, na placa de alumínio A prendeu-se a tarraxa com supercola, sendo que a mesma está presa à placa de alumínio B.

Figura 2.2: Placa de alumínio B que está presa à uma tarraxa, sendo que esta, por sua vez está presa à placa de alumínio A.

Figure 2.2: Aluminum plate B that is attached to a spindle, which in turn is attached to the aluminum plate A.

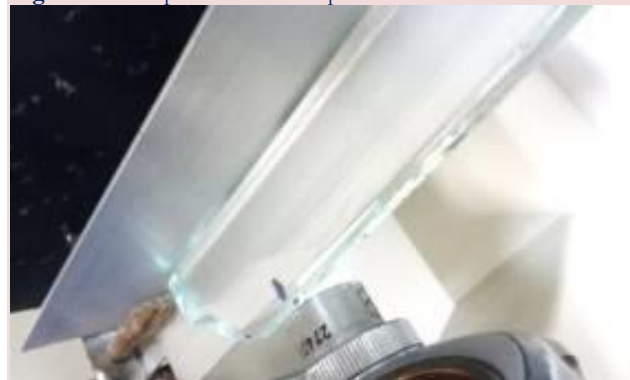


Fonte: Os autores.

Prendeu-se a lanterna com fita adesiva no microscópio, o intuito da lanterna é por uma iluminação externa que independe da parte elétrica do microscópio. Por fim, a amostra foi colocada sobre a placa de alumínio, neste caso a amostra é uma placa de vidro.

Figura 2.3: Amostra sobre a placa de alumínio.

Figure 2.3: Sample on aluminum plate.

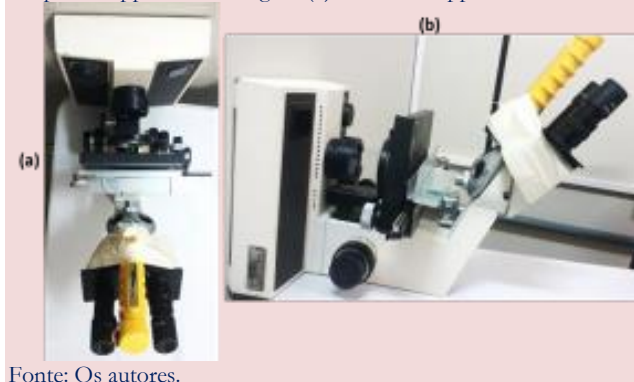


Fonte: Os autores.

Com isso o aparato está concluído e pronto para ser usado, a Figura 2.4 mostra ele finalizado.

Figura 2.4: Construção do aparato finalizado. A figura (a) mostra o aparato de perfil e a figura (b) mostra o aparato de lado.

Figure 2.4: Construction of finished equipment. Figure (a) shows the profile apparatus and figure (b) shows the apparatus on its side.



Fonte: Os autores.

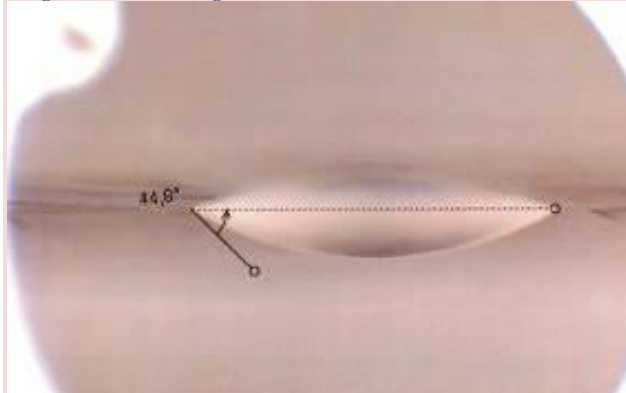
3 METODOLOGIA E DISCUSSÃO

As gotas foram depositadas sobre o vidro com dois tipos de seringas, uma de insulina, pois, a mesma tem o controle do volume mais preciso que as demais dispostas em farmácias e a outra uma micro seringa de 10 μl (dez microlitros), sendo o controle do volume desta maior que o controle do volume da seringa de insulina.

Logo após ao depositar as gotas sobre o vidro, foram tiradas fotografias com a câmera da marca Sony onde a resolução era de no máximo 8 mpx (oito megapixels), graças ao poder de aumento do microscópio, as imagens da gota foram ampliadas em 50 (cinquenta) vezes. Em seguida, as fotos foram passadas para um computador para então serem analisadas pelo software Tracker versão 9.45, onde o mesmo faz parte de um projeto de Open Source Physics, ou seja, é um software gratuito para o uso do ensino de Física e qualquer pessoa pode baixá-lo, instalá-lo e utilizá-lo sem pagar. Com o Tracker é possível analisar as imagens e obter os ângulos de contato entre a água e o vidro conforme ilustrado na Figura 3.1.

Figura 3.1: Imagem da medida do ângulo de contato entre a água e o vidro de uma gota despejada com a seringa de insulina, com o reflexo do vidro na parte de cima. Nesta imagem o ângulo obtido foi de $44,8^\circ$.

Figure 3.1: Image of the measurement of the contact angle between the water and the glass of a dropped drop with the insulin syringe, with the reflection of the glass in the upper part. In this image the obtained angle was $44,8^\circ$.



Fonte: Os autores.

Para facilitar as medidas do ângulo, as imagens foram submetidas a um filtro (negativo), pois com ele, o contraste das bordas em relação ao fundo é mais visível. O ângulo de contato foi medido manualmente no programa com a ferramenta transferidor contida nele.

Foram feitas duas coletas de dados, uma para a seringa de insulina e a outra para a micro seringa, no primeiro momento, tem-se as medidas das gotas despejadas pela seringa de insulina. Foram despejadas várias gotas, uma posterior à outra com intervalo de tempo suficiente para fotografar-se duas vezes a mesma gota sendo o intervalo de tempo de 1s entre essas duas fotos. Tirou-se fotografias de 15 (quinze) gotas, logo, têm-se 30 (trinta) fotografias analisadas através do software.

Obteve-se 30 (trinta) valores dos ângulos de contato uma para cada fotografia, como duas fotografias são de uma mesma gota, tirou-se o valor médio entre os ângulos encontrado para as duas imagens resultando assim em 15 (quinze) médias. Por fim, tirou-se o valor médio desses 15 (quinze) dados para então tirar-se o valor do ângulo e sua variação, os dados obtidos estão expostos na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados referentes aos ângulos de contato obtidos entre a água e vidro (seringa de insulina).

Table 1 – Results referring to the contact angles obtained between water and glass (insulin syringe).

Gotas	Valor do Ângulo de Contato da 1ª Imagem	Valor do Ângulo de Contato da 2ª Imagem	Média Entre os Ângulos de Contato da 1ª Imagem e da 2ª Imagem
1º	47,9	47,3	47,6
2º	42,1	47,4	44,6
3º	40,7	45,4	43,1
4º	41,3	44,9	43,1
5º	47,9	48,4	48,2
6º	46,8	44,9	45,9
7º	44,9	47,5	46,2
8º	46,1	45,2	45,7
9º	45,8	43,4	44,6
10º	45,6	41,7	43,7
11º	44,8	45,1	44,9
12º	45,7	46,9	46,3
13º	43,8	44,6	44,2
14º	44,2	44,8	44,5
15º	45,3	44,8	45,1
Média das Médias dos Ângulos			45,2 ± 1,5

Fonte: Os autores.

Com isso, o valor do ângulo de contato obtido a partir do aparato para as gotas despejadas pela seringa de insulina e medido com a utilização do software Tracker é de 45,2° com um erro de $\pm 1,5^\circ$, onde caracteriza-se a superfície como hidrofílica.

Com procedimento análogo ao anterior, foram fotografadas 26 imagens. Os dados coletados são relativos às gotas despejadas pela micro seringa, e com ela é possível ter maior controle do volume das gotas, sendo que neste caso o volume das gotas era de 0,1 µl (zero virgula um microlitro), os dados estão ilustrados está na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados referentes aos ângulos de contatos obtidos entre a água e vidro (micro seringa).

Table 2 – Results referring to the angles of contacts obtained between water and glass (micro serial).

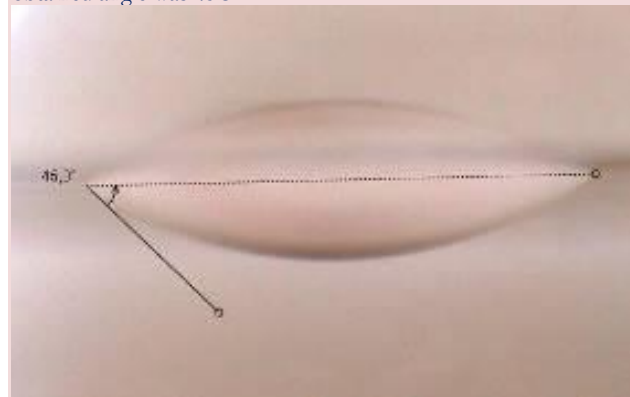
Gotas	Valor do Ângulo de Contato da 1ª Imagem	Valor do Ângulo de Contato da 2ª Imagem	Média Entre os Ângulos de Contato da 1ª Imagem e da 2ª Imagem
1º	44,6	44,6	44,6
2º	43,6	45,8	44,7
3º	44,7	46,3	45,5
4º	45,8	46,2	46
5º	47,6	46,5	47,1
6º	44,3	45,3	44,8
7º	43,9	44,8	44,4
8º	47,7	44,1	45,9
9º	44,3	43,3	43,8
10º	44,8	46,3	45,6
11º	44,8	45,1	45
12º	47,1	45,2	46,2
13º	45,4	46,3	45,9
Média das Médias dos Ângulos			45,3 ± 0,9

Fonte: Os autores.

Assim, o valor do ângulo de contato obtido a partir do aparato para as gotas despejadas pela micro seringa e medido com a utilização do software Tracker é de 45,3° com um erro de $\pm 0,9^\circ$, onde caracteriza-se a superfície como hidrofílica. É notório uma diminuição da flutuação do resultado, isso é devido ao maior controle do volume da gota.

Figura 3.2: Imagem da medida do ângulo de contato entre a água e o vidro de uma gota despejada pela micro seringa, com o reflexo do vidro na parte de cima. Nesta imagem o ângulo obtido foi de 45,3°.

Figure 3.2: Image of the measurement of the contact angle between the water and the glass of a dropped drop by the micro-sphere, with the reflection of the glass at the top. In this image, the obtained angle was 45.3°.



Fonte: Os autores.

Estes resultados encontram-se na margem de resultados obtidos por equipamentos profissionais, pois conforme Pereira et. al., o ângulo de contato entre água e vidro utilizando o OCA 15 é de 45° com um erro de $\pm 3^\circ$.

3.3 Outros Dados

3.3.1 *Thalia Geniculata*

De modo análogo ao procedimento anterior, também se calculou o ângulo de contato entre a *Thalia Geniculata* e a água (esta planta é encontrada com muita frequência em áreas de ressaca), os dados obtidos são para a face adaxial com cera. Para a coleta de dados escolheu-se a parte mais ao centro da planta, os dados estão lustrados na Tabela 3 e Tabela 4, a Figura 3.3 mostra duas imagens dos ângulos de contato obtidos através do software.

Tabela 3 - Resultados referentes aos ângulos de contato obtidos entre a água e a *Thalia Geniculata* (seringa de insulina).

Table 3 – Results referring to the angles of contact obtained between water and *Thalia Geniculata* (insulin syringe).

Gotas	Valor do Ângulo de Contato da 1ª Imagem	Valor do Ângulo de Contato da 2ª Imagem	Média Entre os Ângulos de Contato da 1ª Imagem e da 2ª Imagem
1º	157,3	157,1	157,2
2º	158,5	158,3	158,4
3º	157,8	156,6	157,2
4º	156,7	156,6	156,6
5º	158,4	158,2	158,3
6º	158,6	158	158,3
7º	156,4	156,7	156,5
8º	157,1	157	157,1
9º	157,7	158,2	157,9
10º	159	158,5	158,7
11º	156,5	157,5	157
12º	156,4	156,3	156,4
13º	159,2	158,8	159
Média das Médias dos Ângulos	157,6 \pm 0,9		

Fonte: Os autores.

Assim, o valor do ângulo de contato obtido a partir do aparato para as gotas despejadas pela seringa de insulina e medido com a utilização do software Tracker é de 157,6° com um erro de $\pm 0,9^\circ$, onde caracteriza-se a superfície como superhidrofóbica.

Tabela 4 - Resultados referentes aos ângulos de contatos obtidos entre a água e a *Thalia Geniculata* (microseringa).

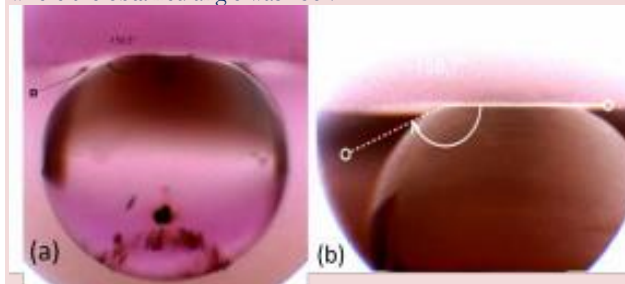
Table 4 – Results concerning the angles of contacts obtained between water and *Thalia Geniculata* (microseringa).

Gotas	Valor do Ângulo de Contato da 1ª Imagem	Valor do Ângulo de Contato da 2ª Imagem	Média Entre os Ângulos de Contato da 1ª Imagem e da 2ª Imagem
1º	158,9	158,1	158,5
2º	158,4	159	158,7
3º	158,3	157,9	158,1
4º	158,4	159,1	158,7
5º	157,5	159,5	158,5
6º	158	158,6	158,3
7º	159,5	159,1	159,3
8º	158,2	158,4	158,3
9º	158,6	158,6	158,6
10º	158,5	158,1	158,3
11º	158,7	158,6	158,6
12º	158	158,5	158,2
Média das Médias dos Ângulos	158,5 \pm 0,3		

Fonte: Os autores.

Figura 3.3: Imagens das medidas dos ângulos de contato entre a água e a *Thalia Geniculata*: (a) gota despejada pela micro seringa onde o ângulo obtido foi de 158,5°. (b) gota despejada pela seringa de insulina onde o ângulo obtido foi de 156,7°.

Figure 3.3: Images of the contact angle measurements between water and *Thalia Geniculata*: (a) dropped by the micro syringe where the obtained angle was 158.5°. (b) dropped by the insulin syringe where the obtained angle was 156.7°.



Fonte: Os autores.

Assim, o valor do ângulo de contato obtido a partir do aparato para as gotas despejadas pela micro seringa e medido com a utilização do software Tracker é de 158,5° com um erro de $\pm 0,3^\circ$, onde caracteriza-se a superfície como superhidrofóbica. Também é notório uma diminuição da flutuação dos resultados, isso é devido ao maior controle do volume da gota, onde neste caso o volume da gota foi de 3 μ l (três microlitros).

Estes resultados também se encontram na margem de resultados obtidos por equipamentos profissionais, pois, conforme Figuei-

redo et. al., o ângulo de contato entre água e a *Thalia Geniculata* para a face adaxial com cera é de $158,3^\circ$ com um erro de $\pm 0,44^\circ$.

3.3.2 *Colocasia Antiquorum Schottpara*

Seguindo o mesmo procedimento, analisou-se também a *Colocasia Antiquorum Schottpara* conhecido popularmente como tajá, cocó, comigo ninguém pode, etc. A parte analisada da planta foi a parte mais escura e mais ao centro, os dados estão na Tabela 5 e Tabela 6, a Figura 3.4 mostra dois dos ângulos de contato medidos no Tracker, um para uma gota despejada pela seringa de insulina e o outro para uma gota despejada pela micro seringa respectivamente.

Tabela 5 - Resultados referentes aos ângulos de contatos obtidos entre a água e a *Colocasia Antiquorum Schottpara* (seringa de insulina).
Table 5 – Results concerning the angles of contacts obtained between water and *Colocasia Antiquorum Schottpara* (insulin syringe).

Gotas	Valor do Ângulo de Contato da 1ª Imagem	Valor do Ângulo de Contato da 2ª Imagem	Média Entre os Ângulos de Contato da 1ª Imagem e da 2ª Imagem
1º	157,5	163,8	160,6
2º	163,7	160,5	165,8
3º	167,7	163,9	165,8
4º	160	163,1	161,5
5º	157,8	151,6	154,7
6º	166,2	162,9	164,5
7º	159,9	153,1	156,5
8º	158,9	158,8	158,8
9º	169,1	166	167,5
10º	157,8	157,8	157,8
11º	160,9	160,2	160,5
12º	159,6	162,8	161,2
13º	156,8	155,7	156,2
14º	156,2	155	155,6
15º	160,9	157,5	159,2
Média das Médias dos Ângulos			160,4 \pm 4

Fonte: Os autores.

Tabela 6 - Resultados referentes aos ângulos de contatos obtidos entre a água e a *Colocasia Antiquorum Schottpara* (micro seringa).

Table 6 – Results concerning the angles of contacts obtained between water and *Colocasia Antiquorum Schottpara* (micro syringe).

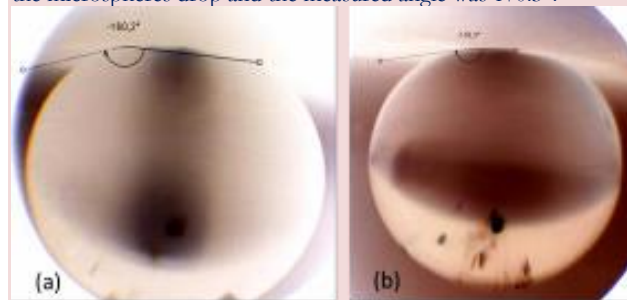
Gotas	Valor do Ângulo de Contato da 1ª Imagem	Valor do Ângulo de Contato da 2ª Imagem	Média Entre os Ângulos de Contato da 1ª e da 2ª Imagem
1º	166,3	167,7	167
2º	168,8	170,3	169,5
3º	168	166	167
4º	169,2	165,7	167,4
5º	164,9	170,1	167,5
6º	165,9	170,2	168,0
7º	166	166,1	166,0
8º	171,6	170,6	171,1
9º	165,9	170,7	168,3
10º	166,4	166,1	166,2
11º	166,9	169,1	168
12º	167,7	166,3	167
Média das Médias dos Ângulos			167,8 \pm 1,4

Fonte: Os autores.

Com isso, pode-se dizer que o valor do ângulo de contato segundo nosso aparato é $160,4^\circ \pm 4^\circ$ para gotas onde se usou a seringa de insulina e $167,8^\circ \pm 1,4^\circ$ para gotas onde se usou a micro seringa, aqui também é perceptível a diminuição na flutuação do resultado, isso porque o volume da gota manteve-se constante em $3 \mu\text{l}$.

Figura 3.2: Imagens das medidas dos ângulos de contato entre a água e a *Colocasia Antiquorum Schottpara*, (a) imagem da gota da seringa de insulina e o ângulo medido foi de $160,2^\circ$; (b) imagem da gota da micro seringa e o ângulo medido foi de $170,3^\circ$.

Figure 3.2: Images of the contact angle measurements between water and *Colocasia Antiquorum Schottpara*, (a) image of the drop of the insulin syringe and the measured angle was $160,2^\circ$; (b) image of the microspheres drop and the measured angle was $170,3^\circ$.



Fonte: Os autores.

Com base nos resultados acima podemos dizer que a superfície da *Colocasia Antiquorum Schottpara* é uma superfície superhidrofóbica, pois o valor do ângulo de contato encontrado

foi superior a 150°. Este resultado não foi comparado a outros resultados feitos por equipamento profissionais, pois, ainda não se encontrou trabalhos que tenham o valor do ângulo de contato entre água e a *Colocasia Antiquorum Schottpara*.

3.4 Vantagens e Desvantagens do Aparato

Tem-se algumas vantagens ao usar-se o aparato como por exemplo o custo e manutenção deste é baixo; o software para a medida do ângulo é gratuito; sua construção e manuseio é simples fazendo com que qualquer pessoa pode estar construindo um e manuseando-o; alguém que nunca trabalhou com um medidor de ângulo de contato pode trabalhar com este facilmente; pesquisadores mais experientes ou amadores podem trabalhar e podem seguir suas pesquisas.

Certamente há vantagens, no entanto, há também desvantagens. Essas desvantagens são devido ao aparato não ser de origem comercial e sim construído a partir de “sucata”, assim, pode-se dizer que essas vantagens presentes nesta pesquisa podem ser extinguidas trabalhando para melhoria do mesmo.

Pode-se citar como desvantagens a dificuldade na hora de estabilizar a câmera para a captura das imagens; o gotejamento sobre a superfície é manual e com isso qualquer desequilíbrio na mão resulta em uma má formação da gota; não há um controle preciso sobre o volume da gota usando a seringa de insulina, pois, ora põe-se uma gota com maior volume, ora põe-se uma gota com menor volume influenciando assim um ângulo de contato maior ou menor prejudicando a obtenção do resultado do mesmo, pois sabe-se que existe uma preocupação em manter o volume da gota praticamente constante (para evitar flutuações no resultado, como assim mostrados nos dados obtidos acima) como também o diâmetro da gota não ultrapassar os 10µm, para que seja

possível desprezar efeitos da força gravitacional; os ângulos são medidos manualmente e com isso os erros sistemáticos podem ser maiores como também o usuário pode manipular os dados; a adesão da gota na agulha quando despeja-se o líquido sobre uma superfície hidrofóbica. (PEREIRA et. al., 2012/2013)

4 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Há melhorias a se fazer neste aparato, pois, há limitações no mesmo e isso deve-se ao fato dele não ser profissional e sim construído de “sucata”, contudo, mesmo o aparato sendo amador, o mesmo foi capaz de medir ângulo de contato entre a água e o vidro, entre água e a *Thalia Geniculata* e entre água e a *Colocasia Antiquorum Schottpara* mostrando resultados coerentes com demais resultados obtidos a partir de equipamentos profissionais. Os resultados estão ilustrados na Tabela 7, ou seja, com base nos dados adquiridos nesta pesquisa pode-se dizer que o aparato funciona e alcançou seu objetivo principal que é medir ângulo de contato com um aparato de baixo custo e dizer se a superfície é hidrofóbica ou hidrofílica, e ainda este aparato caracterizou a superfície da *Colocasia Antiquorum Schottpara* como superhidrofóbica.

Tabela 7 – Comparação entre os ângulos de contato obtidos com o aparato construído e os ângulos de contato obtidos por equipamentos profissionais.

Table 7 – Comparison between the contact angles obtained with the constructed device and the angles of contact obtained by professional equipment.

Superfícies	Água vs Vidro	Água vs Thalia Geniculata	Água vs Colocasia Antiquorum Schott para
Valor do ângulo de contato para as gotas depositadas pela microseringa	45,3° ± 0,9°	158,5° ± 0,3°	167,8° ± 1,4°
Valor do ângulo de contato para as gotas depositadas pela seringa de insulina	45,2° ± 1,5°	157,6° ± 0,9°	160,4° ± 4°
Ângulos de contato encontrado por equipamentos profissionais	45° ± 3°	158,5° ± 0,3°	—
Erro relativo entre o valor do aparato construído e o valor de equipamentos profissionais para as gotas depositadas pela microseringa	0,7%	0	—
Erro relativo entre o valor do aparato construído e o valor de equipamentos profissionais para as gotas depositadas pela seringa de insulina	0,4%	0,6%	—
Erro relativo do aparato para as gotas depositadas pela microseringa	4,0%	0,4%	1,7%
Erro relativo do aparato para as gotas depositadas pela seringa de insulina	6,6%	1,1%	5,0%

Fonte: Os autores.

Como sugestão para melhoramento do aparato, poderia desenvolver-se um software capaz de medir o ângulo de contato automaticamente ao analisar a imagem da gota obtida a partir da câmera. Devido a água ser apolar poderia estar aterrando a agulha, assim a gota não ficaria na mesma quando esta fosse despejada sobre uma superfície hidrofóbica e ainda estar trabalhando nas desvantagens deste aparato para aperfeiçoá-lo.

Como próxima pesquisa usando este aparato poderia-se medir o raio de curvatura de uma gota como também analisar a dinâmica do ângulo de contato quando a mesma evapora sobre a superfície escolhida.

REFERÊNCIAS

ASSIS, T. A. et al. Geometria fractal: propriedades e características de fractais ideais. **Re-**

vista Brasileira de Ensino de Física, v. 30, n. 2, 2304 (2008). <https://doi.org/10.1590/S1806-11172008000200005>

BURKARTER, E. **Construção de imagens por padrões hidrofóbico/hidrofílicos**. 2006. 94 f. Dissertação (Mestrado em Física) – Curso de Física, UFPR, Curitiba, 2006.

BURKARTER, E. **Desenvolvimento de Superfícies Superhidrofóbicas de Politetrafluoretileno**. 2010. 138 f. Dissertação (Doutorado em Física) - Curso de Física, UFPR, Curitiba, 2010.

DORING, L. J. R; LASMAR, O; FERREIRA, M. C. Cinética da tensão superficial e do ângulo de contato de gotas a partir de caldas com acaricida propargito e adjuvantes sobre folhas de café. In: CONBRAFF - Congresso Brasileiro de Fitossanidade. **Anais**. Jaboticabal – SP. UNESP, 2013. p. 657 -661.

FERREIRA, M.C. **Caracterização da cobertura de pulverização necessária para controle do ácaro Brevipalpusphoenicis (Geijskes, 1939) em citros**. 2003. 64 f. Dissertação (Doutorado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP Jaboticabal, 2003.

Ferreira, L. M. V.: **Revestimentos Hidrofóbicos**. 2013. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa, FTC, Lisboa, 2013.

FIGUEIREDO, S. S. PRIOLI, R. Zamora, R. R. M.: **Análise de superfícies foliares: Um estudo sobre a entropia como parâmetro de uniformidade superficial e a superhidrofobicidade de Folhas da Espécie Vegetal Thalia Geniculata (LINEU, 1753)**. 2015. 56 f. Dissertação (Mestrado) - Fundação Universidade Federal do Amapá, Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas, Macapá, 2015.

ONDA, T. et al. Super-Water-Repellent Fractal Surfaces. **J. Phys. Chem**, 1996, n. 100, p. 19512–1951. <https://doi.org/10.1021/jp9616728>

PEREIRA, A. C. M. FIGUEIREDO, F. M.

F. BASTOS, F. C. C. NORONHA, V. T.: T3 – Ângulos de Contacto em Interfaces Sólido-Líquido, **Fenómenos Interfaciais MIB Ramo Engenharia Biológica 3º ano 2012/2013**. Faculdade de Engenharia Universidade do Porto – FEUP.

Tracker Video Analysis and Modeling Tool. Disponível em: <<http://physlets.org/tracker/>>. Acesso em: 10 out. 2016.



License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Artigo **recebido** em 09 de setembro de 2019.

Avaliado em 29 de setembro de 2019.

Aceito em 29 de setembro de 2019.

Publicado em 02 de outubro de 2019.

Como citar este artigo (ABNT):

BARBOSA, Enoque de Sousa; SOUSA, Valéria Castelo Branco de; AGUILA, Victor Montero Del. Construção de um aparato de baixo custo para medir ângulo de contato. **Estação Científica (UNIFAP)**, Macapá, v. 9, n. 1, p. 63-74, jan./mar. 2019.